

2. He S., Li Y., Wang R. Z. Progress of Mathematical Modeling on Ejectors. *Renew // Sustain. Energy Rev.* 2009. Vol. 13. P. 1760–1780.
3. Gnani F., Zare-Behtash H., Kontis K. Pseudo-shock Waves and their Interactions in High-speed Intakes // *Progress in Aerospace Sciences.* 2016. Vol. 82. P. 36–56.
4. Струйные аппараты / Е. Я. Соколов, Н. М. Зингер. 3-е изд., пер. М. : Энергоатомиздат, 1989. 352 с.
5. САЕ-система ANSYS [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ansys.com/> (дата обращения 07.02.2017).
6. Денисов М. А. Разработка учебно-справочного комплекса проектного моделирования в пакете ANSYSWorkbench // *Создание высокоэффективных производств на предприятиях горно-металлургического комплекса.* – Екатеринбург : Уральский рабочий, 2013. С. 95–96.
7. Mazzelli F., Little A. B., Garimella S., Bartosiewicz Y. Computational and Experimental Analysis of Supersonic Air Ejector: Turbulence Modeling and Assessment of 3D Effects // *Int. J. of Heat and Fluid Flow.* 2015. Vol. 56. P. 305–316.
8. Bartosiewicz Y., Zine Aidoun, Desevaux P., Yves Mercadier. Numerical and Experimental Investigations on Supersonic Ejectors // *Int. J. of Heat and Fluid Flow.* 2005. Vol. 26. P. 56–70.

УДК 633.1:631.563.2

ПЕРСПЕКТИВЫ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТ ПРИ СУШКЕ ЗЕРНА

THE PROSPECTS OF REDUCING ENERGY COSTS WHEN DRYING GRAIN

Дегтярева Д. И., Низамутдинов Р. Ж., Круглов Г. А.
Южно-Уральский государственный аграрный университет,
г. Челябинск. degtdarya@yandex.ru

Degtyareva D. I., Nizamutdinov R. J., Kruglov G. A.
South Ural State Agro University, Chelyabinsk

Аннотация: В работе проанализированы способы сушки сельскохозяйственной продукции, представлен способ сушки с использованием теплового насоса, показаны преимущества этого способа.

Abstract: The paper analyzed the methods of drying of agricultural products, a method of drying using a heat pump, the advantages of this method.

Ключевые слова: тепловой насос, сушка, энергия, зерно.

Key words: heat pump, drying, energy, grain.

В послеуборочной период важным является хранение сельскохозяйственной продукции, особенно с учетом влажности. Зерно, поступающее на хлебоприемные пункты, имеет повышенную влажность, иногда достигающую 25–30 %, в связи с чем непригодно для длительного хранения. По этой же причине снижается стоимость принимаемого на элеватор зерна.

Недостаточная просушка приводит к интенсивному протеканию биохимических процессов во влажном зерне, где быстро размножающиеся микроорганизмы и хлебные вредители, происходит самосогревание и порча продукции [1].

Для сохранения собранного урожая влажное зерно сушат до кондиционной влажности (14–16 %). По многолетним статистическим данным, из расчета снижения влажности на 6 % (с 20 до 14 %) в России ежегодно подлежит сушке около 45 % валового сбора.

Сушка является не только теплотехническим, но и технологическим процессом, влияющим на свойства материала, ускоряющим процесс дозревания свежееубранного зерна, сохраняет, а также увеличивает всхожесть и энергию прорастания семян. Кроме того, если зерно подсушено, производительность и качество продукции предприятий мукомольно-крупяной промышленности повышаются при уменьшении расхода электроэнергии и снижении износа основного оборудования.

В процессе сушки влага удаляется за счет использованного тепла затраченной энергии. Сушка является сложным процессом, с участием комбинированного производства тепла и массопереноса. Сушка – процесс энергоемкий, вследствие необходимости подачи

теплоты в материал [1]. К тому же на предприятиях зачастую работают морально и физически устаревшие конструкции сушильных установок, которые потребляют большое количество энергии (таблица) [2, 3].

Расход теплоты при сушке зерна пшеницы

Начальная влажность, w_0 , %	Конечная влажность, w_1 , %	Количество испаряемой влаги, W , кг/ч	Суммарные удельные затраты теплоты на испарение 1 кг влаги при сушке зерна пшеницы, Σq , кДж/кг
16	11,81	1520,3	7531,7
18	12,82	1901,4	6022,1
20	14,0	2232,6	5128,7
22	15,36	2510,4	4561,2
24	16,92	2727,0	4198,9
26	18,69	2876,8	3980,3
28	20,63	2971,5	3853,4
30	22,84	2969,3	3856,3
32	24,8	3063,7	3737,4
34	26,8	3147,5	3637,9
36	28,8	3235,8	3538,7

Приведенные данные указывают на необходимость энергосбережения в процессах сушки.

Сушка может быть осуществлена несколькими способами:

- 1) механический – удаление свободной влаги из материала путем фильтропрессования или центрифугирования.
- 2) сорбционный – смешивание на определенное время влажного материала с влагопоглотителем.

Механическое и сорбционное обезвоживание не сопровождаются изменением агрегатного состояния удаляемой влаги.

- 3) тепловой – основной способ снижения влажности для большинства материалов. Она может быть естественной и искусственной. В первом случае используется тепловая энергия солнца, во втором – тепло, получаемое при помощи разнообразных технических средств [4].

Тепло сушимому материалу может быть передано различными способами: конвективным, кондуктивным (контактным),

радиационным. Возможна сушка токами высокой частоты. Применяются также различные комбинированные способы: конвективный с кондуктивным, радиационный с высокочастотным и др. [5].

Наибольшее применение в сельскохозяйственном производстве получила конвективная сушка, когда движущийся сушильный агент в виде подогретого воздуха или смеси топочных газов с наружным воздухом передает тепло методом конвекции высушиваемому материалу и уносит поглощенную влагу [6].

Одним из способов, позволяющих существенно снизить эксплуатационные затраты процесса сушки и получить высококачественный продукт, является технология сушки с тепловым насосом [7].

Наряду с сушкой использование теплового насоса выполняет комплекс задач, таких как хранение, замораживание и кондиционирование воздуха. Данный способ известен более двадцати лет, однако не получил широкого распространения в промышленных масштабах [8].

Преимущества сушки с использованием теплового насоса:

- повышение эффективности процесса сушки;
- точный контроль температуры, влажности и воздушного потока;
- широкий диапазон условий сушки;
- повышение качества продукции.

Для использования теплонасосной установки (ТНУ) необходимо определить ее основные параметры. При этом важно выбрать источника низкопотенциального тепла [9, 10]

Задачей исследования является повышение эффективности процесса сушки на основе замкнутого цикла с использованием теплового насоса.

Список использованных источников

1. Хакимзянов И. Ф., Кайнов П. А., Хасаншина Р. Т. Перспективы развития процессов сушки материалов и продуктов с использованием теплового насоса // Вестник Казанского технологического университета. 2015. № 2. С. 253–256.

2. Романова Е. В., Орлов А. Ю. Возможности использования тепловых насосов в процессе сушки // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2008. № 3. С. 591–596.
3. Низамутдинов Р. Ж., Низамутдинова Н. С. Применение тепловых насосов в сельском хозяйстве // Достижения науки – агропромышленному производству: материалы ЛП международной научно-технической конференции. Челябинск, 2014. № 5. С. 35 – 39.
4. Лабораторный стенд ГалСэн – Тепловой насос [Электронный ресурс]. URL: <http://galsen.ru/catalog> (дата обращения 02.11.2015)
5. Рей Д. Тепловые насосы / Д. Рей, Д. М. Макмайл. М. : Энергоатомиздат, 1982. 224 с.
6. Wood chip drying with an absorption heat pump / B. Le Lostec [et al.] // Energy. – 2008. – V. 33. – P. 500–512.
7. Гинзбург А. С. Основы теории и техники сушки пищевых продуктов : учебник для вузов / А. С. Гинзбург. – М. : Энергия, 1973. – 528 с.
8. Гришин М. А. Установки для сушки пищевых продуктов: монография / М. А. Гришин, В. И. Атаназевич, Ю. Г. Семенов. – М. : Агропромиздат, 1985. – 215 с.
9. Шерьязов С. К., Пташкина-Гирина О. С. Использование возобновляемых источников энергии в сельском хозяйстве: учебное пособие. – Челябинск : ЧГАА, 2013. С. 280.
10. Sheryazov S. K., Ptashkina-Girina O. S. Increasing power supply efficiency by using renewable sources // IEEE Conference Publications: 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). 2016. P. 1–4.

УДК 621.039

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ И ПОДАВЛЕНИЯ КСЕНОНОВЫХ КОЛЕБАНИЙ

MATHEMATICAL MODELING OF EXCITATION AND SUPPRESSION OF XENON OSCILLATIONS

Демьянов С. А., Кораблев С. А., Чижова Е. С., Семенов В. К.
Ивановский государственный энергетический университет,
г. Иваново, demianovsergey@mail.ru

Demianov S. A., Korablev S. A., Chizhova E. S., Semenov V. K.
Ivanovo State Power Engineering University, Ivanovo